

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

PASARELA PEATONAL SOBRE LA RIERA DE RUBÍ



Memòria i Annexos

Autor: Guillermo Casanova Rosa
Director: Victor Martínez Valverde
Co-Director:
Ponent:
Convocatòria: Mayo 2019

Resum

L'objectiu d'aquest projecte comprèn el càlcul i disseny d'una passarel·la que permeti el pas de vianants i vehicles no motoritzat sobre la Riera de Rubí, a la localitat de Rubí, a mig camí de Tarrassa i Barcelona.

S'ha tingut en compte quatre criteris a l'hora de calcular i dissenyar la passarel·la per a vianants; la seguretat estructural, l'aptitud de servei, l'estètica i l'economia. S'ha cercat el millor equilibri possible entre aquests quatre criteris, però sempre atorgant prioritat a la seguretat estructural i l'aptitud del servei per damunt de l'estètica i l'economia. S'han dissenyat totes les unions de l'estructures com a unions de tipus cargol per evitar tenir que soldar cap perfil a obra per el temps de preparació que necessita.

Tots els càlculs i verificacions de l'estructura, unions i cimentació s'han fet segons la normativa vigent, tant europea (Eurocodi) com espanyola (CTE i Iap-11). Aquests càlculs s'han realitzat amb l'ajuda de programes informàtics, com Robot Structural Analysis i Idea StatiCa, entre d'altres, y es detallen els resultats obtinguts en l'annex. Per últim s'ha definit el procés muntatge de l'estructura per aconseguir un millor temps d'execució.

Resumen

El objetivo de este proyecto ha sido el cálculo y diseño de una pasarela peatonal en la riera de Rubí que permita el paso a peatones y vehículos no motorizados, en la localidad de Rubí, de camino entre Tarrassa y Barcelona.

Se han tenido en cuenta cuatro criterios a la hora del diseño de la pasarela peatonal; la seguridad estructural, la aptitud de servicio, estética y economía. Se ha buscado el mejor equilibrio posible entre estos cuatro criterios, siempre otorgando prioridad a la seguridad estructural y la aptitud de servicio sobre economía y estética. Se han diseñado todas las uniones de la estructura como atornilladas para evitar tener que soldar perfiles y placas en obra por el tiempo de preparación que necesita.

Todos los cálculos y verificaciones de la estructura, uniones y cimentación se han efectuado según la normativa vigente, tanto europea (Eurocódigos) como española (CTE e IAP-11). Dichos cálculos se han realizado mediante programas informáticos como Robot Structural Anlayisis e Idea StatiCa, entre otros, y se detallan en los anexos los resultados obtenidos. Por último, se ha definido el proceso de montaje de la estructura para lograr un mejor tiempo de ejecución.

Abstract

This project envelope the design and calculation of a footbridge over the river Riera de Rubí for pedestrian and non-motorized vehicular traffic, in the city of Rubí, which is located half-way from Barcelona to Tarrassa.

There are four aspects to take in consideration at the time of design of the footbridge; this are the structural safety, serviceability, aesthetic and economy. It has been looked for the best possible balance between these four aspects, but always with structural safety and serviceability taking the lead. All the unions of the structure are design as bolted for the purpose of avoiding to weld on the construction site.

All the calculations and verifications of the structure, unions and foundations has been done in concordance with the current Spanish (CTE and IAP-11) and European (Eurocodes) regulations. These calculations and verifications have been made with informatic programs like Robot Structural Analysis and Idea StatiCa, among others, and they can be found on the annex of this document. Lastly, this project contains the constructive procedure, designed to optimize the time of execution.

Agraïments

Querría agradecer a los profesores que he tenido a lo largo de la carrera, al director del proyecto por ayudarme y guiarme cuando ha hecho falta. También me gustaría agradecer la ayuda y el consejo que me han prestado mis compañeros de trabajo.

Por último quiero dar las gracias a mis padres y mi hermano, por darme todos los ánimos posibles y asegurarse de que siga adelante.

Índex

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRAÏMENTS	IV
1. PREFACI	1
1.1. Origen del treball.....	1
1.2. Motivació	1
1.3. Requeriments previs	1
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1. Objetivo del trabajo	3
2.2. Alcance del trabajo.....	3
2.3. Situación y lugar	3
2.4. Uso característico de la obra	5
2.5. Normativa aplicada	5
2.5.1. Acciones.....	5
2.5.2. Seguridad Estructural.....	5
2.6. Programas informáticos utilizados.....	6
3. ESTUDIO GEOTÉCNICO	7
4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	8
4.1. Materiales Estructurales	8
4.2. Alternativas descartadas.....	9
4.3. Solución adoptada	10
5. DESCRIPCIÓN DE LA PASSAREL·LA	14
5.1. Descripción geométrica	14
5.2. Estructura	14
5.2.1. Cordones (HEM300).....	14
5.2.2. Diagonal (TCAR 250*15)	15
5.2.3. Montante (TCAR 250*15)	15
5.2.4. Diagonales Secundarias (HEA 260).....	16
5.2.5. Rigidizadores superiores.....	16

5.2.6.	Tablero.....	16
5.2.7.	Uniones.....	17
5.2.8.	Cimentación	17
5.2.9.	Apoyos	18
5.2.10.	Barandilla.....	18
6.	ESTRUCTURA	20
6.1.	Acciones consideradas en el cálculo	20
6.1.1.	Acciones permanentes	20
6.1.2.	Acciones variables.....	20
6.2.	Estructura metálica	20
6.2.1.	Material	20
6.2.2.	Perfiles estructurales	21
6.2.3.	Uniones estructurales.....	21
6.2.4.	Comprobaciones	22
6.2.5.	Cimentación	24
7.	FABRICACIÓN Y MONTAJE	25
7.1.	Fabricación.....	25
7.2.	Proceso de montaje	26
	CONCLUSIONS	31
	PRESUPUESTO	33
	Cimentación.....	33
	Estructura.....	35
	IMPACTO AMBIENTAL	38
	BIBLIOGRAFIA	39
	Referencias bibliográficas	39
	Bibliografía de consulta.....	39

Índice Anexo

A1. BASES DE CÁLCULO	5
1.2. NORMATIVA APLICADA	6
1.3. PROPIEDADES DE MATERIALES	7
1.3.1. Acero S 275 JR	7
1.3.2. Acero S 3555 JR	7
1.3.3. Hormigón HA-40-IV	8
1.3.4. Acero B500S para armaduras de cimentación.	8
1.3.5. Tornillería.....	9
1.4. ACCIONES A CONSIDERAR	10
1.4.1. Acciones permanentes	10
1.4.2. Acciones variables	12
1.4.3. Acciones accidentales	38
1.4.4. Resumen de acciones.	38
1.4.5. Valores representativos de las acciones	39
1.5. COMBINACIÓN DE ACCIONES	45
1.5.1. Estado límite último	45
1.5.2. Estado límite de servicio	46
1.5.3. Combinatoria de acciones	46
A2. ESTRUCTURA	53
2.2. COMPROBACIONES	54
2.2.1. Estado límite de servicio	54
2.2.2. Estado límite último	60
2.2.3. Comprobación de sección	66
2.2.4. Comprobación local de pavimento	79
A3. UNIONES	81
3.2. UNIÓN RÍGIDA VIGUETA/RIGIDIZADOR A CORDÓN	82
3.3. UNIÓN RÍGIDA EXTREMO DE CORDÓN SUPERIOR	83
3.4. UNIÓN ARTICULADA MONTANTE EXTREMO.	84
3.5. UNIÓN DE LA CERCHA EN N	85



3.6.	UNIÓN DE LA CERCHA EN K	86
3.7.	UNIÓN DE EMPALME ENTRE CORDONES	87
3.8.	APOYO ARTICULADO FIJO SECUNDARIO	88
3.9.	APOYO ARTICULADO DESLIZANTE SECUNDARIO	89
3.10.	APOYO ARTICULADO FIJO PRINCIPAL	90
3.11.	APOYO ARTICULADO DESLIZANTE PRINCIPAL	92
3.12.	UNIÓN BARANDILLA-VIGUETA	94
A4.	CIMENTACIÓN	96
4.2.	ENCEPADO OESTE (ARTICULACIÓN DESLIZANTE)	97
4.3.	ENCEPADO ESTE (ARTICULACIÓN FIJA)	99
4.4.	COMPROBACIONES	101
4.5.	COMPROBACIÓN DE VUELCO	145
4.6.	COMPROBACIÓN DE PILOTES	148
4.6.1.	Comprobación de pilotes encepado Oeste (apoyo deslizante)	150
4.6.2.	Comprobación de pilotes encepado Este (apoyo fijo)	151
A5.	ESTUDIO DE VIBRACIONES	152
5.2.	FRECUENCIA PROPIA DE VIBRACIÓN EN DIRECCIÓN X E Z	153
5.3.	FRECUENCIA PROPIA DE VIBRACIÓN EN DIRECCIÓN Y	155
5.4.	ANÁLISIS DINÁMICO POR EXCITACIÓN DEBIDA A PEATONES	156
A6.	ESTUDIO GEOTÉCNICO	158
6.2.	CONTEXT GEOLÒGIC	153
6.3.	TREBALL DE CAMP I CARACTERITZACIÓ MECÁNICA	153
6.3.1.	Test de penetració DPSH	160
6.3.2.	Descripció dels materials trobats	163
6.3.3.	Identificació del sòl	164
6.3.4.	Paràmetres característics	165
6.3.5.	Agressivitat química del sòl en front el formigó	165
6.2.	CONCLUSIÓ	153

6.4.1. Fonamentació i excavació.....	166
6.4.2. Agressivitat química del sòl	166
A7. PLANOS	168
7.2. FABRICACIÓN	169
7.3. MONTAJE	211
7.4. CIMENTACIÓN	217
A8. COMPROBACIÓN DE UNIONES	219



1. Prefaci

1.1. Origen del treball

El origen del trabajo se encuentra en la necesidad de presentar ante un jurado de la UPC un proyecto de final de estudios que resuma y aplique todo el conocimiento adquirido a lo largo de la carrera para así poder graduarme y obtener mi título de ingeniero por parte de la Universidad Politécnica de Cataluña.

1.2. Motivació

La principal motivación que he tenido a la hora de escoger este proyecto ha sido el consolidar el conocimiento sobre el cálculo de estructuras y aventurarme en el diseño estructural.

Por otra parte, también me pareció interesante la asignatura de cálculo por elementos finitos que cursé el pasado cuatrimestre, y quise incorporar este método a mi proyecto y calcular las uniones por métodos de elementos finitos.

Otro punto a destacar es el tener que calcular una cimentación, algo que no había hecho hasta ahora y, por tanto, me daría la posibilidad de aprender algo sobre hormigón y cimentaciones, conocimiento sin el que me graduaría de la carrera si no fuese por este proyecto.

1.3. Requeriments previs

Para la correcta realización del proyecto ha sido necesario el conocimiento sobre cálculo de estructuras.

Por otra parte ha sido necesaria una formación de los programas a utilizar.

2. Introducció

2.1. Objectivo del treball

El objetivo de este proyecto es el diseño y cálculo de una pasarela de acero estructural sobre la Riera de Rubí que permita a peatones y vehículos no motorizados cruzar de un lado al otro del río.

2.2. Alcance del trabajo

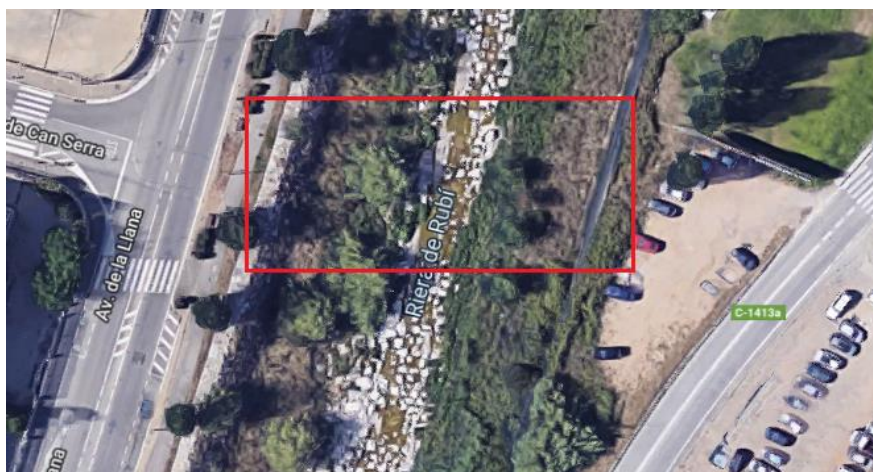
La finalidad de este proyecto es el de diseñar y calcular una pasarela para peatones, lo que incluye, naturalmente, cálculos estructurales, diseño de uniones coherentes con su posterior fabricación, diseño de cimentaciones y montaje de la estructura.

2.3. Situació i lloc

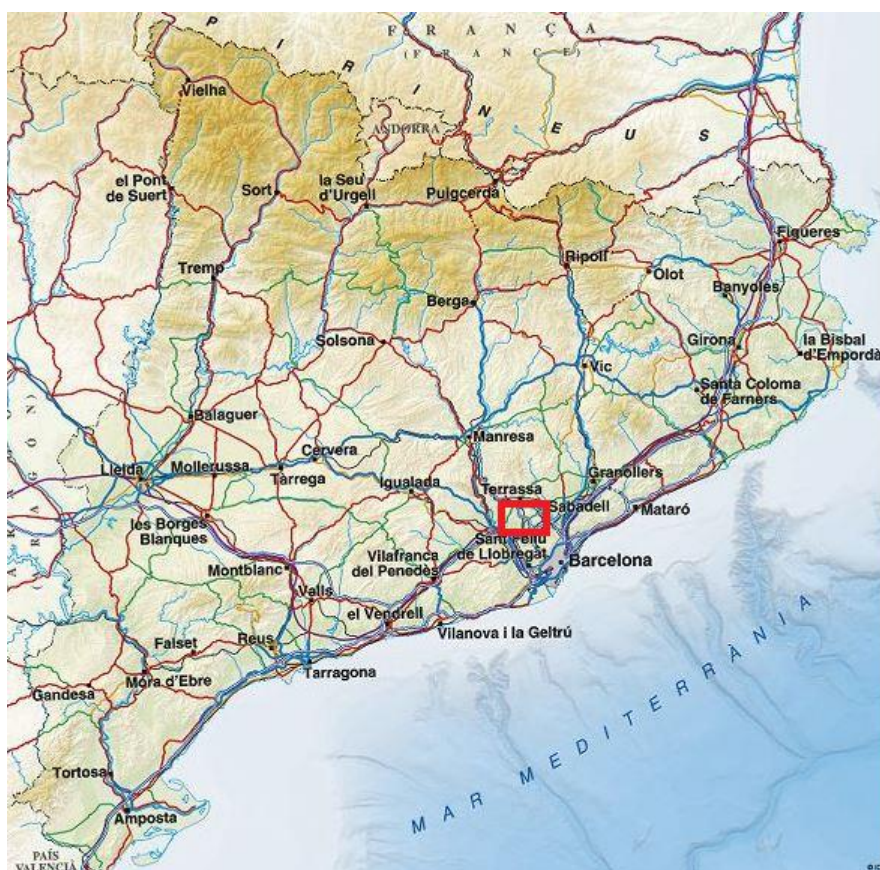
La pasarela peatonal se ubicará en el municipio de Rubí, sobre la Riera de Rubí, de unos 20 metros de anchura, que conectará la carretera Molins de Rei (zona urbana) con la Av. De la Llana (zona industrial que da paso a campo).

Rubí se encuentra a unos 20km hacia el interior de la península, dirección noroeste, pasando el Parque Natural de Collserola, entre Terrassa y Barcelona, como vemos en la ilustración 2. Dispone de una superficie de 32 km² con unos 75000 habitantes, y una altura a nivel de mar de 124 metros.

Los pasos sobre el río más próximos están aproximadamente a 650 metros en dirección norte y 900 metros en dirección sur.



Il·lustració 1. Situació de la pasarela sobre la riera de Rubí



Il·lustració 2. Situació geogràfica del emplaçament.

2.4. Uso característico de la obra

La pasarela será utilizada exclusivamente por peatones y vehículos no motorizados, como son patinetes, bicicletas, cochecitos, sillas de ruedas, etc. Se deberán tomar las medidas necesarias para asegurarse del buen uso de la estructura, mediante señalización o impedimento físico por parte de vehículos a la pasarela. Esto se consigue instalando unas barreras espaciadas entre sí para que permitan el paso de peatones, sillas de ruedas, bicicletas, carros de compra, pero no vehículos ni motocicletas.

2.5. Normativa aplicada

2.5.1. Acciones

- Código Técnico de la Edificación (CTE). DB SE Seguridad Estructural: Bases de Cálculo. DB SE-AE Acciones en la Edificación, Ministerio de Vivienda, 2006
- Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11), Ministerio de Fomento, 2011
- Norma UNE-EN 1991-2 (2003) Traffic Loads on Bridges

2.5.2. Seguridad Estructural

- Instrucción de acero estructural (EAE-10), Ministerio de Fomento, 2010.
- Instrucción de hormigón estructural (EHE-08), aprobada por el Real Decreto 2661/1998, 11 de diciembre.
- Código técnico de la edificación (CTE), aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- NORMA UNE- EN 1993-1-8 (2013) Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero – Parte 1-8: Uniones
- NORMA UNE- EN 1990 (2001) Eurocódigo: Bases de cálculo de estructuras – Anexo A2: Aplicación a puentes

2.6. Programas informáticos utilizados

- Robot Structural Analysis 2017 (AutoDesk) para el dimensionamiento de perfiles, cálculo de esfuerzos y deformaciones, comprobaciones de normativa, análisis modal de vibraciones.
- Idea StatiCa 9 Connection (StatiCa) para el diseño, comprobación de deformación y calculo por elementos finitos de las uniones de la estructura.
- Tekla Structures 2017i (Trimble-Construsoft) con el cual se ha hecho el modelado en 3D de la estructura para la posterior elaboración de planos y listados de materiales.
- Cype 2019.g-Extensión CypeCad para el cálculo de las cimentaciones de la estructura
- Excel para el cálculo de las acciones y la elaboración de combinaciones de acciones.
- AutoCad para la elaboración de planos.
- Word para la creación de los documentos necesarios.

3. Estudio geotécnico

El terreno en el que se encuentra la estructura es un depósito reciente de origen aluvial, de unos 10 metros de espesor compuesto por arenas arcillosas y limosas. Por debajo de 10 metros se encuentran los sedimentos del Mioceno que llenan la depresión tectónica del Vallés. El nivel freático se encuentra sobre los 8-9 metros. La resistencia portante del terreno varía según la profundidad y, de acuerdo a los ensayos de penetración realizados, se deduce que las posibilidades de cimentación son reducidas.

Para el presente proyecto se efectuarán cimentaciones mediante pilotes. La resistencia en punta del terreno para pilotes de profundidad inferior a 8 metros es de 30 kg/cm², y de 140 kg/cm² en profundidades superiores a 10,20 metros.

En los anexos se encuentra el estudio completo.

4. Estudio de alternativas

Para poder hacer un estudio de alternativas, hay que, antes de nada, identificar cuáles serán los esfuerzos a los que se verá sometida la pasarela. Como vemos en la ilustración 3, una viga sometida a una carga distribuida (carga por peatón en el caso de estudio) en su longitud, el esfuerzo dominante en esta situación es el momento flector.

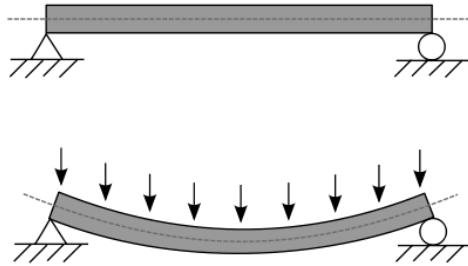


Ilustración 3. Deformación sufrida por una viga simplemente apoyada a flexión.

Debido a las características del proyecto, el impacto visual que conlleva la realización de esta pasarela es importante, por ello se ha intentado, en la medida de lo posible, mantener un buen equilibrio entre la estética, la seguridad estructural, la aptitud de servicio y la economía. Cabe decir que, en caso de conflicto, se ha priorizado en todo momento la seguridad estructural y la aptitud de servicio, frente a la estética o economía.

Para llegar a este equilibrio es importante hacer una adecuada selección de tanto la tipología de puente, como los materiales que la componen. Por ello se ha hecho un pequeño estudio previo de alternativas

4.1. Materiales Estructurales

Se han descartado inicialmente los siguientes materiales:

- Materiales cerámicos; debido a su fragilidad y difícil elaboración resultando en un precio innecesariamente elevado.
- Hierro; debido al entorno en que se encuentra, el hierro sufre mucho por corrosión y aporta unas características resistentes más bajas que los demás metales de construcción.

- Hormigón Armado; el cual debería evitarse siempre que el esfuerzo sufrido por la estructura sea predominantemente flector, como es nuestro caso, por su resistencia limitada a dicho esfuerzo.
- Madera; por su complejidad añadida de cálculo y su alto coste de mantenimiento.

Materiales barajados para los elementos estructurales:

- Hormigón Armado para las cimentaciones y pavimento
- Acero en perfiles laminados para la estructura

4.2. Alternativas descartadas

En todo momento se ha intentado evitar la opción de perturbar el poco cauce que tiene el río, así que las tipologías de pasarelas que necesitan de un apoyo intermedio, como las de tableros de hormigón armado, por tener una resistencia a flexión limitada, se han descartado desde el principio por este mismo motivo.

Debido al material a utilizar y la tipología predominante de esfuerzo a la que se verá sometida la estructura, se llega a la conclusión rápidamente de que la tipología más adecuada para esta estructura es una tipología en cercha, ya que una tipología en cercha permite salvar grandes distancias sin necesidad de salirse de los perfiles comerciales.

4.3. Solución adoptada

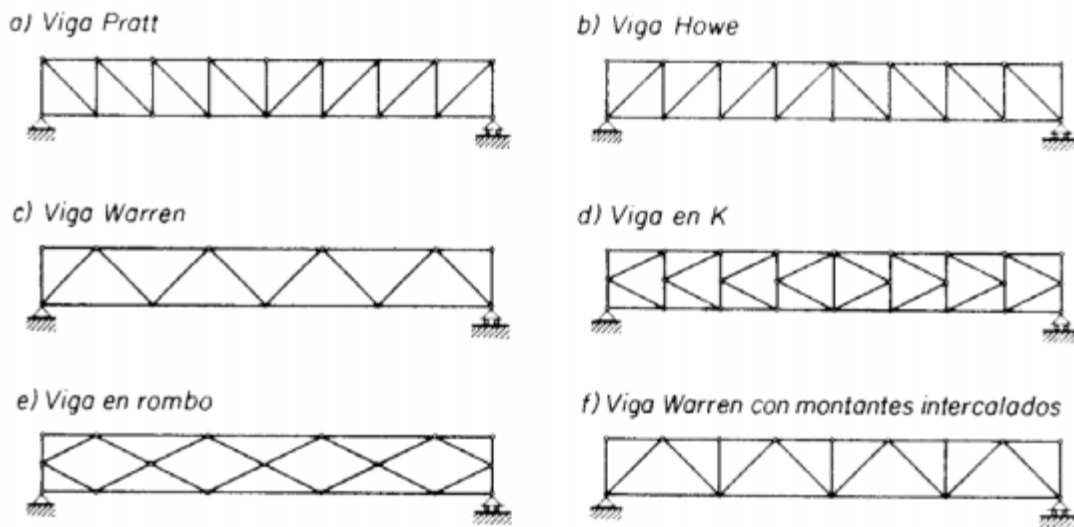


Ilustración 4. Distintas tipologías de cercha.

De los distintos tipos de cercha que existen, se ha escogido la tipología Pratt porque en esta tipología, que se observa en la ilustración 4, las diagonales, los elementos más largos de la estructura descontando los cordones, están sometidas a tracción, lo que conlleva que no se vean afectadas por pandeo, ya que éste solo afecta a secciones sometidas a compresión.

Una cercha trabaja normalmente con esfuerzos flectores elevados ya que es capaz, mediante su tipología, transformar este momento en esfuerzo de tracción-compresión (diagonales-montantes), sin necesidad de apoyos intermedios, lo que era interesante en este proyecto en particular.

El funcionamiento de las cerchas es el mismo que el de una viga. Supongamos que tenemos una viga en perfil en doble T sometida a una carga distribuida en su longitud con un apoyo simple en cada extremo. Esto generará un momento máximo en la mitad de la longitud. Si hacemos un corte de sección en este punto, los esfuerzos en esta sección serían los siguientes:

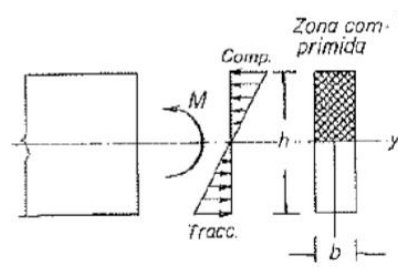


Ilustración 5. Sección sometida a flexión

Como vemos en la ilustración 5, cuando una viga biapoyada está sometida a esfuerzos que provocan un momento flector, como una carga distribuida, se producen dos esfuerzos contrarios en la sección de la viga, esfuerzos que se cancelan en la fibra neutra del perfil. En la parte superior de la fibra neutra tenemos una zona comprimida, mientras que en la parte inferior se presenta un esfuerzo de tracción.

Cuando extrapolamos este análisis a una viga en celosía se hace obvio que los cordones serán quienes aguanten estos esfuerzos de compresión-tracción. Siendo el cordón superior el encargado de soportar el esfuerzo de compresión, y el inferior el encargado de soportar el esfuerzo a tracción. Las diagonales y montantes cumplen dos objetivos; aliviar la estructura absorbiendo parte de la carga (Diagonales a tracción y Montantes a compresión) a la vez que aportan rigidez en el sentido longitudinal, y arriostrar los cordones superiores para reducir la distancia de pandeo, que es el mayor problema que tienen las secciones de acero sometidas a compresión, y por tanto, el mayor problema de diseño en los cordones superiores.

El pandeo es un fallo de inestabilidad que tienen las secciones, normalmente metálicas, sometidas a compresión y que se ve agravado en gran medida por la distancia entre arriostramientos. Por ello es conveniente que las diagonales trabajen a tracción, ya que como se ha dicho son elementos de longitud considerable, unos 4 metros. En la ilustración 6 y 7 se ha representado de forma gráfica el pandeo de un perfil en doble T sometido a esfuerzo de compresión y sus modos de fallo en distintos perfiles.

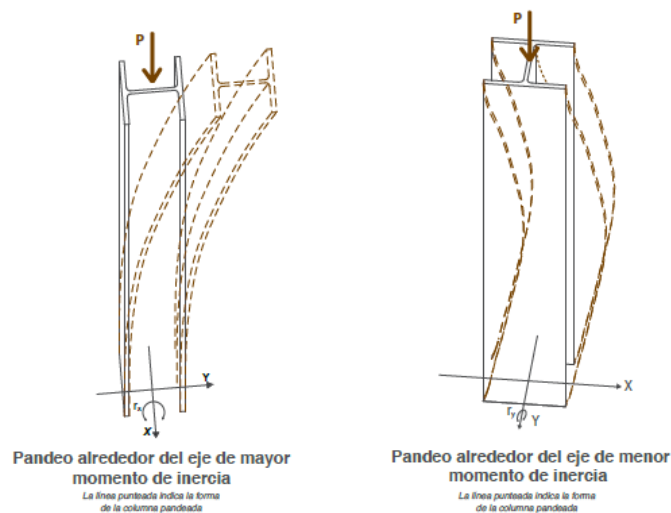


Ilustración 6. Pandeo en perfiles de alma en doble T

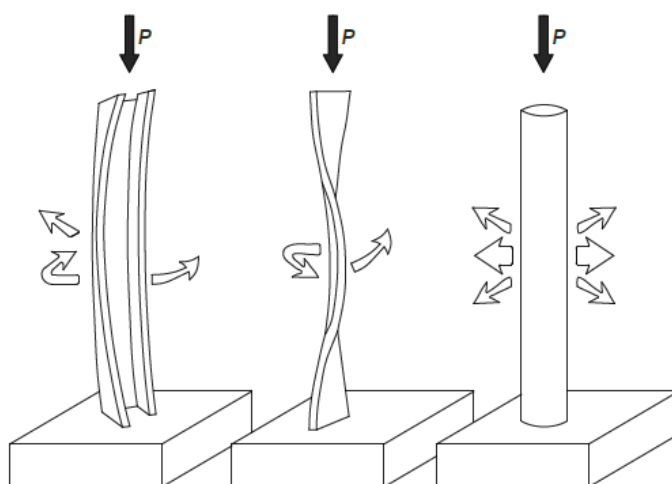


Fig. 8. Modos de pandeo de columnas aisladas comprimidas axialmente.

Ilustración 7. Pandeo en distintos perfiles

La solución escogida ha sido, por tanto, una pasarela en puente viga o puente cercha con tipología Pratt, acentuando las líneas rectas de la pasarela.

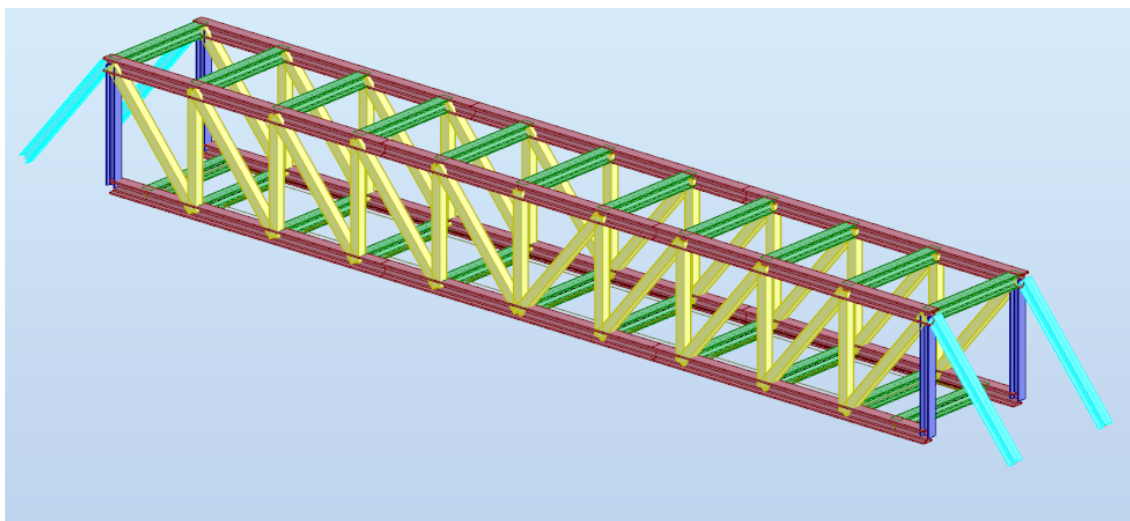
La pasarela se compone por una cercha a cada lado de la pasarela en tipología Pratt, conectadas entre sí por viguetas transversales en la parte inferior que recogen el pavimento y rigidizadores en la parte superior que tienen por objetivo rigidizar la estructura en el sentido transversal. En el siguiente capítulo en la ilustración número 8 se puede observar un 3D de la estructura. Con esta disposición se cumple la condición de rigidiza, resistencia y durabilidad que se espera de una pasarela peatonal, como se demostrará a lo largo del documento.

Por la ubicación de la estructura, cerca de una zona industrial, la estética que presenta el perfil de acero al desnudo no desentona como lo haría en la zona urbana, aunque la estética es un tema que atañe a criterios subjetivos.

Una de las grandes ventajas de esta solución es la economía de montaje y precisión de fabricación que se consigue. Al ser el acero el material básico de la estructura, esta se podrá fabricar completamente en taller, lo que nos aporta un elevado control de calidad y ejecución precisa de tolerancias, reduciendo mucho el tiempo de montaje en obra ya que solo habrá que ensamblar las piezas entre ellas con la tornillería para formar la estructura.

La única desventaja frente a otros materiales que tiene el acero es el mantenimiento que requiere cuando se encuentra en un entorno hostil, como es la humedad que se pueda generar cerca del río, dando resultado a la corrosión del perfil. Por ello habrá que hacer un mantenimiento periódico de la

estructura, cada 5 años más o menos, para repintar y eliminar manchas de corrosión que hayan podido surgir.



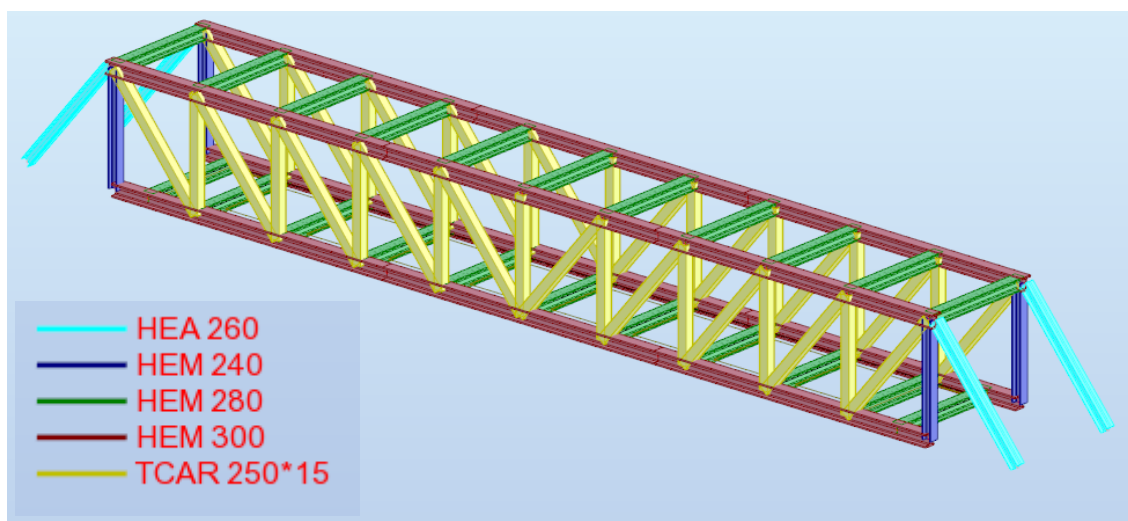
Il·lustració 8. Estructura 3D - Robots Structural Analysis

5. Descripción de la pasarela

5.1. Descripción geométrica

La solución adoptada ha sido una pasarela en puente viga o puente cercha, de 25 metros de luz, 3.2 metros de ancho, habilitando un paso de 2.5 metros para peatones y ciclistas, y 3 metros de canto de celosía.

5.2. Estructura



Il·lustració 9. Estructura 3D - Robot Structural Analysis

5.2.1. Cordones (HEM300)

Los cordones están formados por perfiles HEM300, un perfil laminado en doble T, de 340mm de altura, 310mm de base, 21mm de espesor de alma y 39mm de ala. Se ha dividido en tres cada longitud de cordón, para poder ser transportados, dejándonos con una longitud máxima de cordón de 8720mm. Para el cálculo será necesario diferenciar entre superiores e inferiores, debido a que estarán sometidos a esfuerzos distintos; los superiores, como se ha comentado anteriormente, sufren de compresión, mientras que los inferiores sufren de tracción.

El material del perfil es S 275JR.

5.2.2. Diagonal (TCAR 250*15)

Las diagonales son los elementos sometidos a tracción, junto con los cordones inferiores, de la estructura.

Las diagonales están formadas por perfiles tubulares rectangulares de 250mm de lado, 15mm de espesor y dispuestos cada 2,5m.

El material del perfil es S 275JR.

5.2.3. Montante (TCAR 250*15)

Los montantes de la estructura están sometidos a compresión, así que se ha de tener en cuenta el posible fallo por pandeo. Están espaciados 2,5m, al igual que las diagonales y compuesto del mismo perfil, tubulares rectangulares de 250mm de lado, 15mm de espesor, excepto los montantes extremos, de color azul en la ilustración 9. Se ha decantado por un perfil tubular para evitar el pandeo lateral, ya que el pandeo lateral, que es uno de los fallos por inestabilidad de sección y se caracteriza por la deformación que se muestra en la ilustración 8, se da exclusivamente en perfiles de alas abiertas. En cambio, sufren de abolladura cuando están sometidos a compresión.

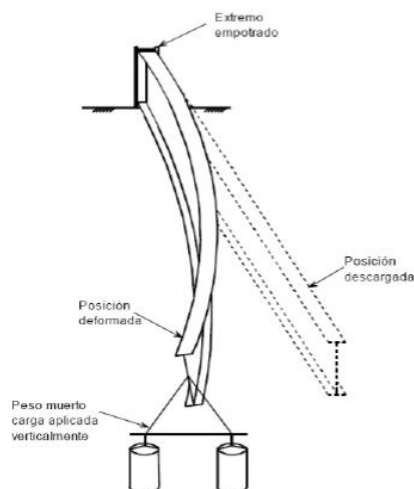


Ilustración 10. Fallo inestable por pandeo lateral

Los montantes extremos están compuestos por perfiles HEM240, un perfil laminado en doble T, de 270mm de altura, 248mm de base, 18mm de espesor de alma y 32mm de ala, que tiene mayor área que el perfil tubular y por tanto resiste más esfuerzo de compresión.

El material del perfil es S 275JR.

5.2.4. Diagonales Secundarias (HEA 260)

Las diagonales secundarias son necesarias para poder montar la estructura, como se explicará más adelante. Están formadas por perfiles HEA 260, un perfil laminado en doble T, de 270mm de altura, 248mm de base, 18mm de espesor de alma y 32mm de ala.

El material del perfil es S 275JR.

5.2.5. Rigidizadores superiores

Los elementos rigidizadores son los únicos elementos no estructurales, que rigidizan la parte superior de la cercha para así poder cumplir con criterios de confort y límites de deformación de nudos. Están formados por perfiles HEM 280mm, un perfil laminado en doble T, de 310mm de altura, 288mm de base, 18.5mm de espesor de alma y 33mm de ala, que se conectan transversalmente a los cordones superiores.

La calidad del acero es S 275JR

5.2.6. Tablero

El tablero está formado por perfiles HEM 280mm, un perfil laminado en doble T, de 310mm de altura, 288mm de base, 18.5mm de espesor de alma y 33mm de ala, que se conectan transversalmente a los cordones inferiores. Sobre estas viguetas se fija un forjado colaborante (formado por chapa, armaduras y losa de hormigón como se observa en la ilustración 11) que soporta una carga distribuida máxima de $7,8\text{kN/m}^2$, con las siguientes dimensiones:

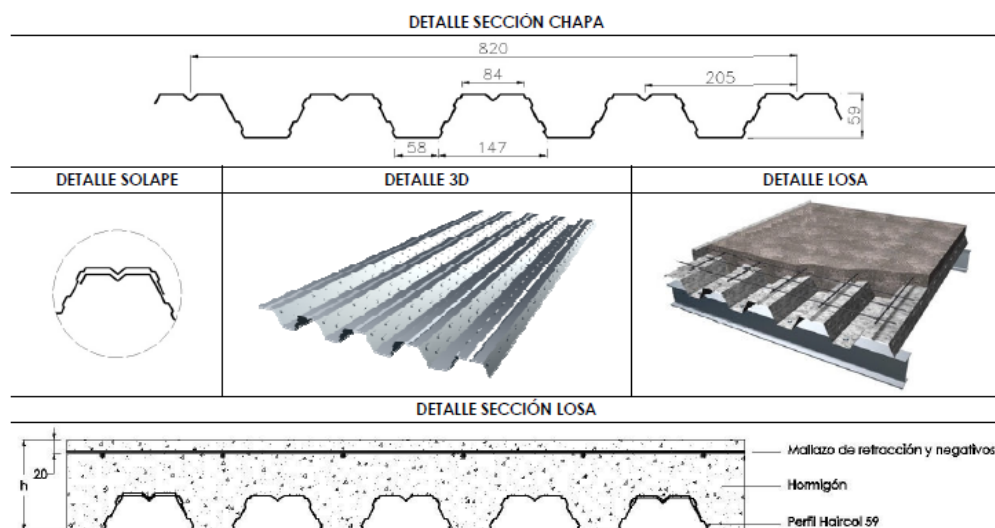


Ilustración 11. Detalle de chapa colaborante - Europerfil

Siendo h la altura de hormigón y e el espesor de la chapa:

- h igual a 110 mm
- e igual a 1 mm

La calidad del hormigón de pavimento es de C25/30.

La calidad del acero es S 275JR.

5.2.7. Uniones

Todas las uniones entre montantes-diagonales y cordones se harán de forma articulada, mediante tornillería, para evitar la acumulación de momento en las uniones y asegurarse de que los montantes y diagonales trabajen únicamente a compresión y tracción, respectivamente.

Todas las uniones entre cordones y viguetas que sostienen el pavimento y cordones y rigidizadores serán uniones rígidas para cumplir la condición de flecha en los nudos para la situación de servicio, $L/150$.

Todas las uniones que conectan los distintos elementos que componen la estructura (cordones, montantes, diagonales, rigidizadores y viguetas) serán atornilladas con el propósito de evitar tener que hacer soldaduras en obra, que aparte de ser difícil y requerir mayor tiempo de preparación, se obtienen peores resultados que en taller, y así acortar el tiempo de ejecución del proyecto.

Se utilizará soldaduras únicamente para la unión de perfiles con elementos secundarios (tales como placas) necesarios para su fijación mediante tornillos al resto de elementos de la estructura que se harán en el taller (diagonales, montantes, cordones, vigas y rigidizadores).

5.2.8. Cimentación

La cimentación tiene como objetivo transmitir los esfuerzos existentes en la estructura hacia el terreno y así disiparlos.

Debido al tipo de suelo en el que se encuentra la estructura, se recomienda la ejecución de la cimentación mediante pilotes. Como se explica en el estudio geológico, el nivel freático no termina

hasta los 8,8 metros, como consecuencia tenemos una resistencia que varía en gran medida según la profundidad. Como se va a calcular una cimentación mediante pilotes, lo que interesa es la resistencia en punta del suelo según el nivel. Se tiene entonces una resistencia de 30 kg/cm² de 0 metros a 8 metros, y una resistencia de 140 kg/cm² cuando sobrepasamos los 10.2 metros, donde termina el nivel freático.

Como el objeto de estudio es una pasarela peatonal, no ha sido necesario ejecutar una cimentación con pilotes enterrados a una profundidad de 10 metros para conseguir la máxima resistencia en punta del terreno, 140 kg/cm², así que se ha optado por unos pilotes enterrados a 4 metros con una resistencia en punta de 30 kg/cm².

Estos datos están recogidos en el estudio geotécnico, en el anexo A.6.

La calidad del hormigón de cimentación es C40.

5.2.9. Apoyos

En el extremo este, los apoyos de la estructura son de tipo articulado fijo y en el extremo oeste los apoyos son articulaciones móviles que permiten el desplazamiento de la estructura en el sentido longitudinal. Se ha diseñado los apoyos como articulados para evitar la concentración de momento flector, lo que supondría unos perfiles de cordones mayores. Los apoyos articulados móviles son necesarios para que la estructura pueda dilatar en el sentido longitudinal. La temperatura es un gran problema para la estructura por componerse básicamente de acero, por ello se ha visto necesario adoptar esta solución, ya que de otra forma la dilatación longitudinal sufrida por los cordones generaba unas tensiones internas importantes en las articulaciones que había que reducir.

5.2.10. Barandilla

La barandilla está formada por perfiles circulares huecos, de 70mm de diámetro y 4 de espesor. Tiene una altura de 1.25 m, altura recomendada por la norma IAP-11 para pasarelas peatonales con tráfico ciclista.

Los montantes de la barandilla, de 1,25 m de longitud están dispuestos cada 2,5 m, los cuales se atornillan a las vigas inferiores. Dispone de dos tubos transversales para ofrecer mayor soporte. El primer tubo longitudinal se encuentra a 0,65 m de la base de la barandilla, el segundo se encuentra a 1,25m de la base.

La barandilla se fija a las vigas que sostienen el pavimento con una placa de 140x140 mm y 10mm de espesor, soldada a la base de los montantes, mediante 4 tornillos de M12.

La barandilla dispone de un remate inferior para cubrir la parte inferior y evitar accidentes, como podemos ver en la ilustración 12. Este remate está agujereado para evitar el acumulamiento de agua y/o nieve.

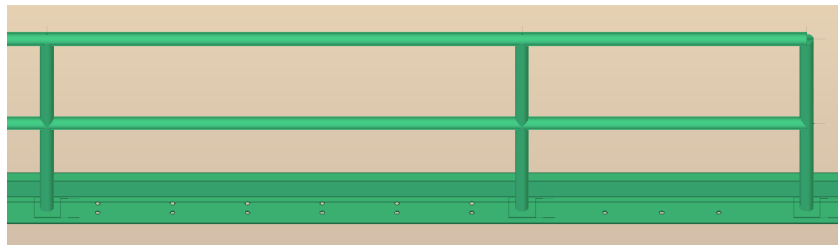


Ilustración 12. Barandilla y remate de barandilla.

6. Estructura

6.1. Acciones consideradas en el cálculo

6.1.1. Acciones permanentes

- Peso Propio
- Cargas muertas
 - Pavimento
 - Barandilla

6.1.2. Acciones variables

- Sobrecarga de uso
- Sobrecarga en barandilla
- Viento
- Nieve
- Acción térmica

Los coeficientes aplicados a las acciones y a la combinación de acciones que se ha hecho según Eurocodigo 1990 están recogidos en el anejo de cálculo de estructuras.

6.2. Estructura metálica

6.2.1. Material

El material que conforman los perfiles de la estructura es acero S 275JR. Las propiedades de este material se recogen en la tabla 1.

Módulo de elasticidad, E	210000	N/mm ²
Coeficiente dilatación térmica, α	1.2x10 ⁻⁵	°C ⁻¹
Densidad, ρ	7850	kg/m ³
Coeficiente de Poisson, ν	0.3	
Límite elástico, f_y	275	MPa

Tabla 1. Propiedades S 275JR

6.2.2. Perfiles estructurales

Se ha utilizado los siguientes perfiles estructurales en la pasarela:

- HEA 240 Para los montantes extremos, que soportan mayor carga de compresión.
- HEA 260 Para las diagonales extremas que permiten el seguro montaje de la estructura.
- HEM280 Para las viguetas que recogen el pavimento y los rigidizadores superiores
- HEM300 Para los cordones de la cercha
- TCAR 250x15 mm Tubo cuadrado hueco para montantes y diagonales, exceptuando los montantes extremos.

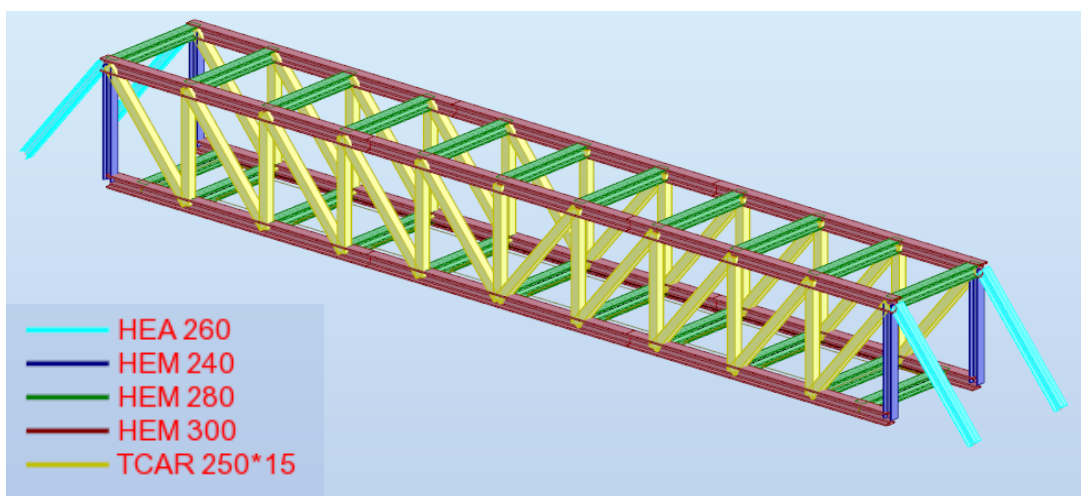


Ilustración 13. Estructura 3D - Robot Structural Analysis

6.2.3. Uniones estructurales

Las uniones se han diseñado con dos tipos de calidad de acero, debido a que en algunas de estas uniones se debía aumentar en exceso las dimensiones para garantizar su correcto funcionamiento. Se ha aumentado la calidad del material por encima del aumento de las dimensiones por la limitación de espacio físico en las uniones donde se requería dicho aumento. El material que se ha utilizado para las uniones más solicitadas, con tal de garantizar la seguridad de la estructura, es un acero S 355JR, con un límite elástico de 355 MPa. Las demás características son comunes al acero S 275JR, como podemos ver en la tabla 2.

Módulo de elasticidad, E	210000	N/mm ²
Coeficiente dilatación térmica, α	1.2x10-5	°C ⁻¹
Densidad, ρ	7850	Kg/m ³

Coefficiente de Poisson, ν	0.3	
Límite elástico, f_y	275	MPa

Tabla 2. Propiedades S 355JR

Aparte de este nuevo material, también se ha utilizado un perfil HEM220, de calidad S 355 JR, como elemento de unión entre los cordones y los perfiles HEM280.

En los anexos se recogen todos los detalles de cada unión.

6.2.4. Comprobaciones

Se han realizado las comprobaciones correspondientes a estado límite de servicio y estado límite último para cada situación de proyecto; permanente y transitoria. Todas las comprobaciones de la estructura se han hecho según el Eurocodigo 1990 (2003), exceptuando la comprobación de deformación y vibración, que se recoge en el Código Técnico de la Edificación y la IAP-11. Se encuentra en detalle las combinaciones utilizadas y su justificación en el anexo de cálculo. Todos los perfiles cumplen los límites recogidos en las dos normas.

6.2.4.1. Estado límite de servicio

6.2.4.1.1 Estado límite de deformación

La IAP-11 recomienda que, para pasarelas peatonales, la flecha vertical máxima sufrida por la sobrecarga de uso más la combinación frecuente de servicio no ha de superar $L/1200$, siendo L la luz de la pasarela. La flecha horizontal máxima se ha tomado como $L/150$.

Este estado ha sido el determinante a la hora de diseñar la pasarela, porque requiere de una rigidez elevada el soportar todos los esfuerzos de servicio sin llegar a la deformación límite, que en el caso de los cordones es de 20mm máximo, siendo L 25000mm.

6.2.4.1.2 Estado límite de vibraciones

La IAP-11 considera verificado el estado límite de vibraciones en pasarelas peatonales siempre que la frecuencia natural de la pasarela quede fuera de los siguientes valores:

- Rango crítico para vibraciones verticales y longitudinales: 1,25 a 4,60 HZ
- Rango crítico para vibraciones transversales: 0,50 a 1,20 HZ

La frecuencia propia de la pasarela de estudio queda fuera del rango para vibraciones verticales y longitudinales, con una frecuencia propia de 9HZ. En cambio, la frecuencia propia para vibraciones transversales se sitúa en 0,60HZ.

Al situarse dentro de los rangos de vibración impuestos, hay que hacer un estudio de aceleraciones y confort, que se encuentra comentado en detalle en los anexos, mediante el cual se determina la aceleración máxima sufrida en los nudos de la estructura por la excitación dinámica de peatones. El resultado es que las aceleraciones mayores que se producen lo hacen en la frecuencia de 9HZ, con una aceleración máxima de $58,9 \text{ cm/s}^2$, unos $0,6 \text{ m/s}^2$. Valor que, de ser necesario comprobar un rango de confort, según la siguiente tabla recogida de la IAP-11, cumple con un grado de confort medio. En este caso no tiene mucho sentido hablar de confort ya que un peatón no es capaz de mantener una frecuencia de 9 HZ, y por tanto esta situación no llegará a tener lugar.

GRADO DE CONFORT	RANGOS DE ACELERACIONES	
	VERTICALES	LATERALES
Máximo	$< 0,50 \text{ m/s}^2$	$< 0,10 \text{ m/s}^2$
Medio	$0,50 \text{ a } 1,00 \text{ m/s}^2$	$0,10 \text{ a } 0,30 \text{ m/s}^2$
Mínimo	$1,00 \text{ a } 2,50 \text{ m/s}^2$	$0,30 \text{ a } 0,80 \text{ m/s}^2$
No aceptable	$> 2,50 \text{ m/s}^2$	$> 0,80 \text{ m/s}^2$

Tabla 3. Valores de referencia de aceleraciones para el confort de los peatones – IAP-11

6.2.4.2. Estado límite último

Para la comprobación de estado límite último, lo que contempla el Eurocodigo es la aplicación de unos coeficientes de mayoración a las cargas de proyecto, que varía de 1,05 a 1,5, según la comprobación y el tipo de acción que se mayor. En cambio, el CTE, contempla una disminución de la resistencia del material. Al final, los métodos contemplados por ambos códigos vienen a representar el mismo concepto, o bien aumentando los esfuerzos que soporta o bien disminuyendo la resistencia del material, al final lo que se busca es provocar una situación desfavorable para quedarse del lado de la seguridad a la hora de diseñar/dimensionar. Se ha optado por el método del Eurocódigo.

Las comprobaciones que establece el Eurocódigo en estado de límite último son comprobaciones de sección del perfil a distintos esfuerzos y esfuerzos combinados. Las comprobaciones de sección de los distintos perfiles en todas las combinaciones de acciones se han calculado automáticamente con Robot y están recogidas en el anexo de cálculo.

6.2.5. Cimentación

El tipo de cimentación escogida para el proyecto ha sido una cimentación por pilotes. Se ha diseñado un encepado rectangular para cada extremo de la pasarela que recoja las cuatro articulaciones presentes en cada extremo. Los pilotes han sido diseñados a una profundidad de 4 metros, con una resistencia de punta de 3kg/cm^2 .

Los encepados tienen unas dimensiones de 5,3 metros en la dirección transversal y 4,9 metros en la longitudinal.

Se han diseñado dos encepados con profundidad distinta para optimizar el proceso de ejecución de la cimentación. El encepado del extremo oeste de la pasarela se ha diseñado con una profundidad de 2 metros, ya que, en este extremo, si se recuerda, se encuentra la articulación deslizante, por tanto, dicho encepado estará menos solicitado que el extremo este, tanto a tracción (esfuerzo vertical) como a cortante. El encepado del extremo este se ha diseñado con una profundidad de 2,5 metros. Esta diferencia de medio metro permite colocar unos anclajes más largos que hacen aumentar la resistencia a arrancamiento que tiene el hormigón. Esta resistencia se conoce por arrancamiento de cono de hormigón, que al final será el volumen de hormigón que deberá resistir el esfuerzo a tracción que transmite el anclaje. Se puede observar este fallo y el volumen de hormigón resistente en la ilustración 14.

Por este motivo se ha escogido hormigón C40, que tiene una resistencia a tracción mayor que el C25, por ejemplo, que fue el primero en barajarse.

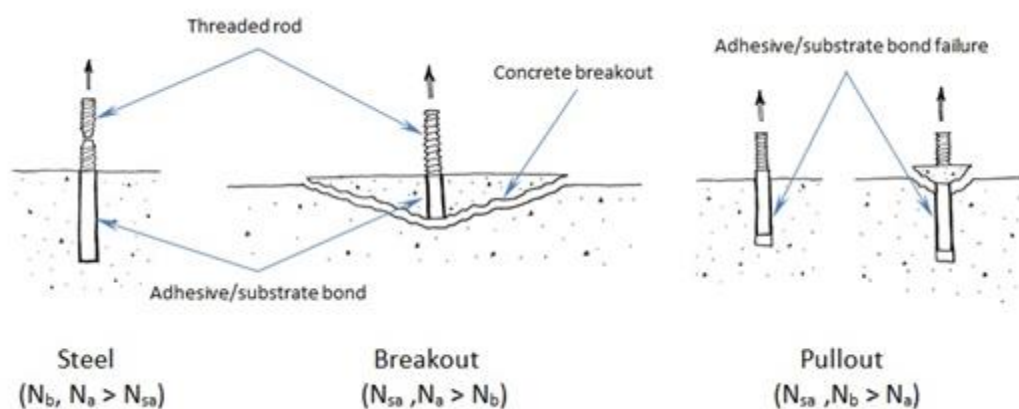


Ilustración 14. Rotura por cono de hormigón.

7. Fabricación y montaje

7.1. Fabricación

Como ya se ha comentado anteriormente en este documento, se ha tenido especial cuidado a la hora de diseñar la pasarela para que su construcción y montaje sea lo más fácil y rápida posible, por ello se ha dividido la estructura en conjuntos que estarán íntegramente fabricados en taller, como podemos ver en los anejos, y que posteriormente serán transportados hasta el emplazamiento de la pasarela, en Rubí. Una vez en transportados, se ensamblarán los conjuntos entre sí según planos de montajes recogido en los anexos. Para ensamblar los distintos conjuntos solo se necesitará de herramientas adecuadas para el correcto apriete de los tornillos, ya que todas las uniones entre conjuntos serán atornilladas, para así evitar hacer soldaduras en obra, lo que agilizará la ejecución del proyecto y mejorará la calidad de las soldaduras presentes en la estructura, pues se harán en taller.

Para poder transportar y fabricar los cordones, se han dividido en 3 partes, dos partes de 9150mm y una parte de 8220mm.

Hay seis tipos de conjuntos que conforman la estructura, que son:

- Cordones
- Diagonales
- Montantes
- Viguetas
- Apoyos secundarios
- Elementos de unión
- Soportes de Rampa

Se ha creado una numeración dentro de cada tipo de conjunto para poder fabricar y montar estos conjuntos de forma precisa. Por ello se tiene que, por ejemplo, los cordones superiores reciben la numeración CS-X, donde CS refiere a Cordón Superior, y X (código numérico) refiere al tipo de cordón superior. Esta numeración es necesaria ya que se tienen distintos elementos dentro del mismo conjunto. Estas diferencias no son geométricas, sino por posiciones de agujeros.

7.2. Proceso de montaje

Como podemos ver en los planos de montaje de la estructura, el en capítulo 4 del anexo, la pasarela peatonal está dividida en tres partes. Estas tres partes se unen mediante placas en los cordones, como podemos ver en los anexos de fabricación.

En cuanto al montaje de la estructura, se ha dividido en las siguientes 5 fases:

- Fase 1: Ensamblado de conjuntos en la orilla este del río, adyacente a la zona urbana, según plano de montaje F1. Una vez completamente ensamblado, se deberá levantar la sub-estructura con una grúa hasta su posición encima del encepado y conectar las 4 articulaciones con sus respectivos tornillos pasantes.
- Fase 2: Ensamblado de conjuntos en la orilla oeste del río, adyacente a la zona industrial, según plano de montaje F2. Una vez completamente ensamblado, se deberá levantar la sub-estructura con una grúa hasta su posición encima del encepado y conectar las 4 articulaciones con sus respectivos tornillos pasantes.
- Fase 3: Ensamblado de conjuntos según plano de montaje F3. Una vez completamente ensamblado, se deberá levantar la sub-estructura con una grúa para completar la estructura. Una vez los montantes de todas las partes estén alineados, se atornillarán los cordones con las placas según plano de montaje F3. Una vez montado la última sub-estructura, se atornillarán las diagonales que conecta cada sub-estructura con la adyacente, ya que el corte de la estructura coincide a la mitad de la diagonal, como se ve en el plano de montaje F4.
- Fase 4: Una vez montada la estructura resistente, se deberán fijar las barandillas, los remates de barandilla y los perfiles que soportan la rampa para facilitar el acceso a bicicletas.
- Fase 5: Una vez montada la estructura auxiliar, se fijará la chapa colaborante a las viguetas inferiores mediante studs y se colocará el trámex de tal forma que el extremo final del trámex penetre unos centímetros en el hormigón, para así asegurar el correcto encuentro entre trámex y hormigón. Por último, se colocarán las armaduras y se verterá el hormigón.

Debido al procedimiento de montaje se concluye rápidamente que es necesario un apoyo secundario para sostener las sub-estructuras durante las dos primeras fases del montaje, ya que los apoyos de la estructura son articulados y no bloquean rotaciones, solo desplazamientos. Esto es debido a que, en las dos primeras fases, las sub-estructuras de la pasarela estarán en voladizo, así que se necesita de un elemento que permita soportar el momento que produce este voladizo, pero manteniendo el apoyo articulado, que es necesario para la situación permanente de la estructura. Se consigue soportar este momento al añadir un apoyo secundario por cada apoyo articulado, distanciado 2,7 m. De esta forma el apoyo articulado primario, en la situación transitoria, se convierte en un eje de rotación, y el apoyo

secundario soporta el momento que genera la sub-estructura por estar en voladizo, que se convierte en una fuerza vertical positiva por la ley de la palanca.

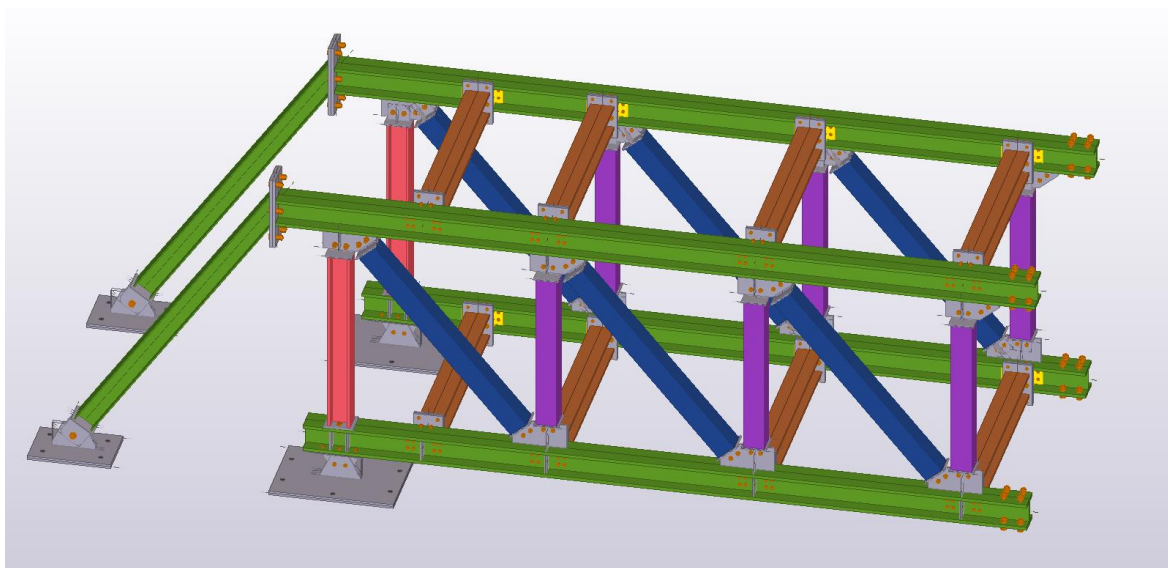


Ilustración 15. Montaje Fase 1.

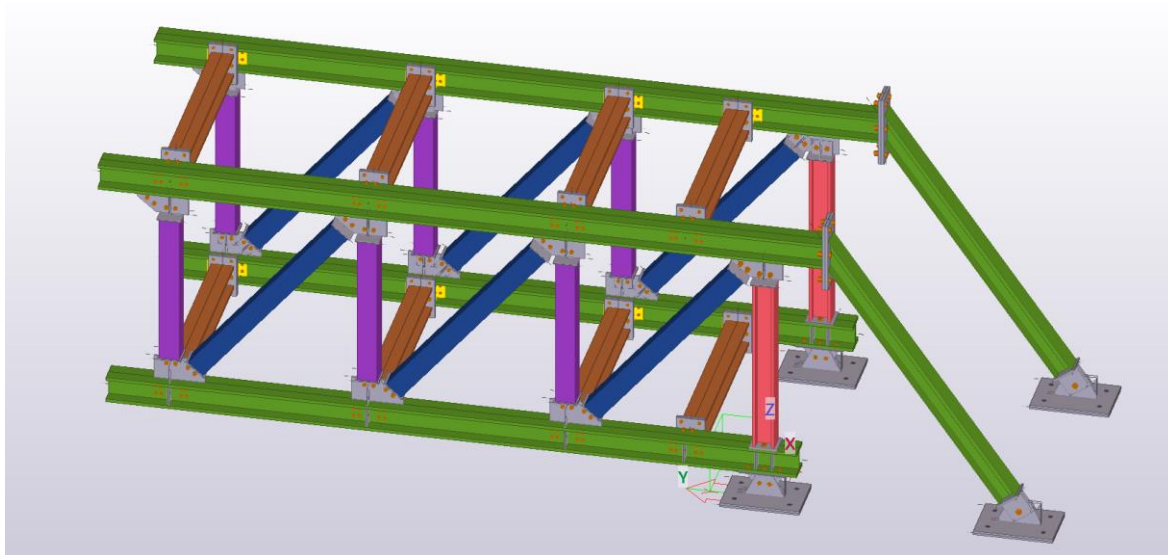
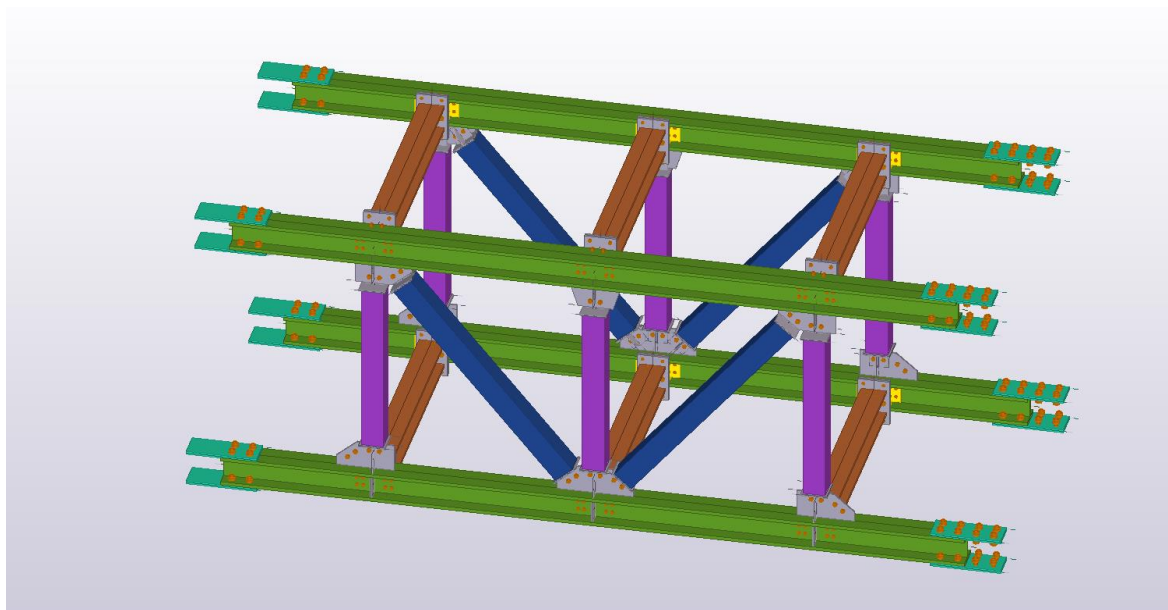
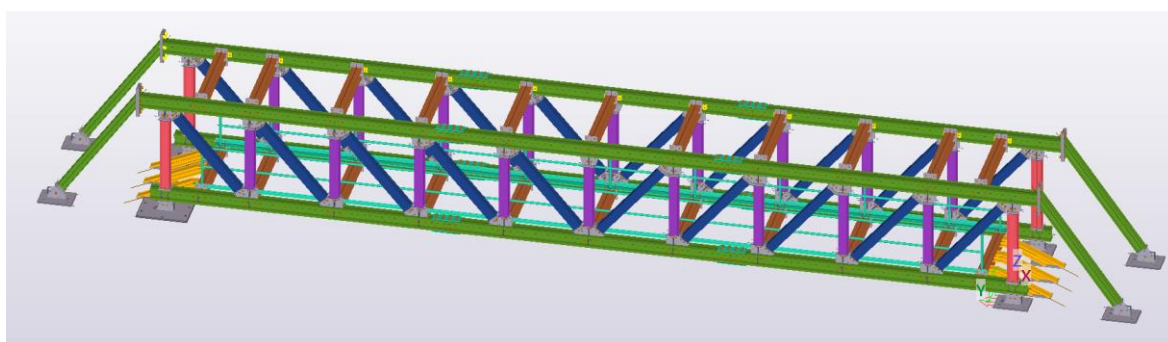


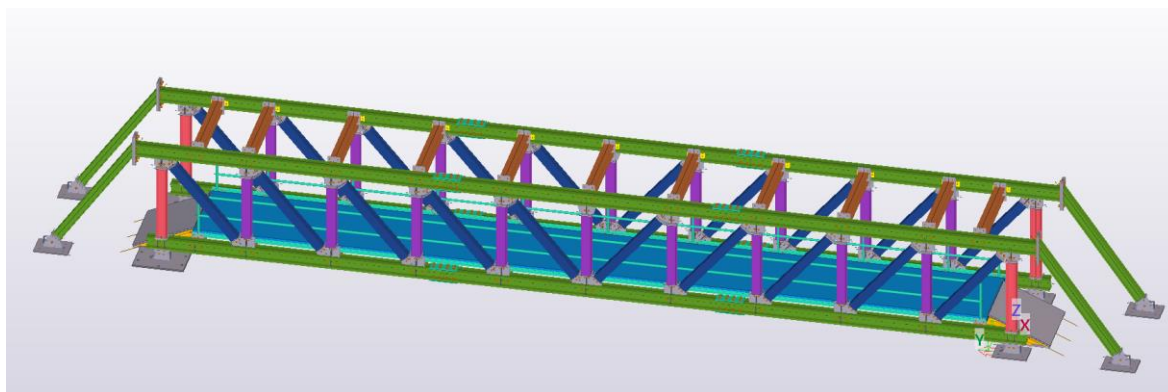
Ilustración 16. Montaje Fase 2.



Il·lustració 17. Montaje Fase 3.



Il·lustració 18. Montaje Fase 4.



Il·lustració 19. Montaje Fase 5.

Conclusions

Gracias al presente proyecto se ha consolidado todo lo aprendido a lo largo de la carrera y, sobre todo, se ha consolidado en gran medida el cálculo estructural, el cual era uno de los objetivos de haber escogido una pasarela peatonal como proyecto de final de grado. Durante este proyecto se ha entendido la estricta relación que hay entre uniones, estructura y cimentación, ya que cada uno condiciona el cálculo/diseño de la otra. Por ejemplo, ha habido casos en que se ha tenido que aumentar un perfil estructural únicamente para poder soldar los elementos secundarios a dichos perfiles. Esto se debe a que existen limitaciones de espesor de garganta de soldadura que soporta el perfil, y que depende del espesor de perfil a soldar.

También cabe destacar que durante la realización del diseño y posterior cálculo del proyecto de estudio se han encontrado ciertos retos como han sido el cálculo térmico y el cálculo de vibraciones. Retos a los cuales se han dado solución según la normativa vigente.

La utilización del modelado en 3D, mediante Tekla Structures, dentro de la metodología BIM (Building Information Modeling) ha permitido detectar situaciones que necesitaban solución y visualizar la estructura de forma más realista antes de su montaje. Esta metodología posibilita la implementación de varios programas específicos de cálculo, cada uno en una rama distinta, y así poder crear un proyecto más completo y detallado.

Se considera que la información presente en la memoria, así como en los anexos, es suficiente para justificar el correcto funcionamiento según normativa vigente del presente proyecto.

Presupuesto

Cimentación

Valor	Ud	Descripción	total
		m ² Capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 10 cm de espesor, de hormigón HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, en el fondo de la excavación previamente realizada.	
0,105	m ³	Hormigón de limpieza HL-150/B/20, fabricado en central.	57,88 € 6,08 €
0,010	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	26,20 € 0,26 €
0,020	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	23,79 € 0,48 €
2,000	%	Costes directos complementarios	6,82 € 0,14 €
		3,000 % Costes indirectos	6,96 € 0,21 €
Precio total por m ²			7,17 €

m³ Encepado de hormigón armado, agrupando cabezas de pilotes descabezados, realizado con hormigón HA-40/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 51,7 kg/m³, correspondiente al conjunto de armaduras propias, de espera de los elementos de atado y centrado de cargas a que haya lugar, y de espera del pilar al que sirve de base para transmitir las cargas al pilotaje. Incluso alambre de atar y separadores.

8,000	Ud Separador homologado para cimentaciones.	0,13 €	1,04 €	
51,694	kg Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	0,81 €	41,87 €	
0,362	kg Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	1,10 €	0,40 €	
1,050	m ³ Hormigón HA-40/B/20/Ila, fabricado en central.	88,09 €		92,49 €
0,410	h Oficial 1ª ferrallista.	26,20 €		10,74 €
0,479	h Ayudante ferrallista.	23,79 €		11,40 €
0,212	h Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	26,20 €		5,55 €
0,847	h Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	23,79 €		20,15 €
2,000	% Costes directos complementarios	183,64 €		3,67 €
	3,000 % Costes indirectos	187,31 €		5,62 €
Precio total por m ³				192,93 €

Estructura

Valor	Ud	Descripción	ACERO S275 JR	total
-------	----	-------------	---------------	-------

kg Acero UNE-EN 10025 S275JR, en estructura metálica con piezas simples de perfiles laminados en caliente de la serie HEA, colocado con uniones atornilladas en obra.

- Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de las piezas. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones atornilladas.
- Criterio de medición de proyecto: Peso nominal medido según documentación gráfica de Proyecto.
- Criterio de medición de obra: Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.
- Criterio de valoración económica: El precio incluye los tornillos, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, las placas de arranque y de transición de pilar inferior a superior, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje, pero no incluye las placas de anclaje de los pilares a la cimentación.

1,000 kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones atornilladas en obra.	1,06 €	1,06 €
0,026 h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	26,20 €	0,68 €
0,026 h	Ayudante montador de estructura metálica.	23,79 €	0,62 €
2,000 %	Costes directos complementarios	2,36 €	0,05 €

3,000 %	Costes indirectos	2,41 €	0,07 €
---------	-------------------	--------	--------

Precio total por kg	2,48 €
---------------------	--------

Valor	Ud	Descripción	ACERO S355 JR	total
-------	----	-------------	---------------	-------

kg **Acero UNE-EN 10025 S355JR**, en estructura metálica con piezas simples de perfiles laminados en caliente de la serie HEA, colocado con uniones atornilladas en obra.

1,000	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S355JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones atornilladas en obra.	1,19 €	1,19 €
-------	----	---	--------	--------

0,026	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	26,20 €	0,68 €
-------	---	---	---------	--------

0,026	h	Ayudante montador de estructura metálica.	23,79 €	0,62 €
-------	---	---	---------	--------

2,000	%	Costes directos complementarios	2,49 €	0,05 €
-------	---	---------------------------------	--------	--------

3,000 %	Costes indirectos	2,54 €	0,08 €
---------	-------------------	--------	--------

Precio total por kg	2,62 €
---------------------	--------

Una vez sabemos cuál es el precio unitario de cada material, lo único que queda es calcular el peso total de cada material presente en la estructura. Esto se puede hacer fácil y rápidamente gracias al programa Tekla Structures, en el cual se ha modelado previamente la estructura en 3D y se le han asignado a cada perfil y placa la calidad del material. El volumen de hormigón para las cimentaciones se ha calculado rápidamente a mano. Los datos obtenidos se encuentran en la tabla 4.

Material	Cantidad
S 355JR	7120 kg
S 275JR	57620 kg
Cimentación Oeste (Articulación deslizante)	50,930 m ³
Cimentación Este (Articulación fija)	63,80 m ³
Hormigón Limpieza	50 m ²

Tabla 4. Resumen de pesos

Con estos datos se obtiene un precio final de:

$$Pf = P_{S\ 355} \cdot C_{S\ 355} + P_{S\ 275} \cdot C_{S\ 275} + P_{Horm} \cdot C_{Horm} + P_{Horm\ Lim} \cdot C_{Horm\ Lim}$$

$$Pf = 2,62 \frac{\text{€}}{\text{kg}} \cdot 7120\ \text{kg} + 2,48 \frac{\text{€}}{\text{kg}} \cdot 57620\ \text{kg} + 192,93 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \cdot 50,930\ \text{m}^3 + 192,93 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \cdot 63,80\ \text{m}^3$$

$$+ 50\ \text{m}^2 \cdot 7,17 = 184.045,36\ \text{€}$$

Se tiene, entonces, que el presupuesto por la fabricación y el montaje de la estructura en la riera de Rubí es de 184.045 €

Impacto ambiental

En cuanto al impacto visual de la pasarela, se cree que no desentonará el acero al desnudo y con líneas rectas que tiene la cercha hace que encaje en este entorno industrial en el que se encuentra la estructura.

Se ha hecho un pequeño estudio de emisiones de CO₂ producidas por la fabricación del acero estructural y, según el informe de responsabilidad corporativa de la compañía Steel Business Briefing, la empresa ArcelorMittal, empresa de cuyo catalogo hemos extraído nuestros perfiles, emitió en 2009 2,245 toneladas de CO₂ por tonelada de acero producido. A falta de más datos se supondrá un mismo ratio para la actualidad.

$$E_{Co2} = 2,245 \frac{t_{Co2}}{t_{acero\ pr}}$$

Como se recoge en la tabla A.4, el peso total de acero producido es de 64740 kg.

$$E_{Co2-totales} = 2,245 \frac{kg_{Co2}}{kg_{acero\ pr}} \cdot 64740\ kg_{acero\ pr} = 145341,3\ kg\ CO_2$$

Por tanto tenemos que para producir esta estructura se han generado 145 toneladas de CO₂. Para absorber esta cantidad de CO₂ en un año, se necesitarían entre 5000 y 10000 árboles, según la edad que tenga.

Bibliografia

Referencias bibliográficas

España, Dirección General de Carreteras. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11). Madrid: Centre de Publicacions, 2011.

España, Ministerio de Vivienda. Código técnico de la edificación (CTE). Madrid: Centro de Publicaciones, 2010.

España, Secretaría General Técnica. Instrucción de acero estructural (EAE-10). Madrid: Centro de Publicaciones, 2010.

España, Secretaría General Técnica. Instrucción de hormigón estructural (EHE-08). Madrid: Centre de Publicacions, 2008.

Norma UNE-ENV 1993/1/1: Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras metálicas. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios, AENOR, 2008.

Norma UNE-EN 1993-1-8: Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras metálicas. Parte 1-8: Uniones, AENOR, 2013.

Norma UNE-EN 1990: Eurocódigo: Bases de cálculo de estructuras, AENOR, 2003.

Norma UNE-EN 1990: Eurocode: Basis of structural design. Annex A2: Application for bridges (Normative), European Committee for Standardization (CEN), 2001.

Norma UNE-EN 1990: Eurocode 1: Actions on structures. Part 2: Traffic loads on bridges, European Committee for Standardization (CEN), 2003.

Bibliografía de consulta

Constantino Hurtado Mingo, Fidel Fernández Pascual, Manuel Asensio Mingo, Ruth Vega Clemente. Estructuras de acero en edificación. Madrid, Asociación para la Promoción Técnica del Acero (APTA), DL 2008.

Argüelles Álvarez, Ramón. Estructuras de acero. Madrid, Belisco 1999-2001.

West Harry, Geschwindner Louis, Fundamentals of structural analysis. New York: Wiley, cop. 2002.

